

# Pour une relève thermodynamique du chauffage électrique direct : une stratégie gagnant-gagnant

André Marquet

Les « virages commerciaux » effectués dès le début des années 1970 par EDF, le producteur-distributeur d'énergie électrique en France, ont engendré la mise en place d'une véritable stratégie de conquête des marchés de la thermique, moyens du service public à l'appui. Ces marchés étaient dévolus jusqu'alors, pour l'essentiel, à des énergies moins nobles mais plus aptes au stockage : charbon, hydrocarbures liquides et gazeux pour l'essentiel.

Si le succès est resté mitigé dans l'industrie (la pénétration de l'électricité n'y est pas plus ardente en France qu'en Allemagne) il est un domaine où cette stratégie de conquête a réussi bien au-delà du raisonnable : le chauffage électrique direct (transformant l'électricité en chaleur directement par effet Joule) dit « intégré » en construction neuve, et que nous appellerons « CEI » dans la suite. Moins cher à installer qu'un chauffage à eau, surtout si le bâti est médiocrement isolé, il équipe encore quarante ans après une proportion majoritaire des logements neufs en France, et plus de 30 % du parc total de logements, constituant une étrangeté de notre pays<sup>1</sup>.

Pour illustrer les conséquences, reportons nous à la situation du 15 décembre 2010 : la vague de froid a engendré vers 19 h un record de puissance électrique produite avec 96 500 MW. D'année en année, ce record de puissance de pointe est battu ; le 8 février 2011 il atteint 101 700 MW. Une situation très tendue pour l'ensemble du réseau électrique ! Sur ces énormes pointes de puissance, le CEI est responsable d'au moins 35 000 MW qui, rappelons-le, doivent être produits simultanément avec leur consommation. Et ce fameux 15 décembre 2010, les centrales à combustibles fossiles mobilisées pour faire face à cette demande de puissance rejetaient **16 500 tonnes par heure de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère !**

**Car c'est bien là le paradoxe** de cette conquête « pseudo-libérale » des marchés du chauffage, engagée antérieurement, mais de peu, à un programme nucléaire massif et à vrai dire très excédentaire vis-à-vis de la demande énergétique globale :

- l'énergie de chauffage, appelée pour une durée annuelle limitée et une succession de « pointes » de puissance plus ou moins courtes correspondant à des vagues de froid sujettes aux caprices du climat, ne peut être produite à des conditions économiques qu'en faisant largement appel aux centrales électriques à **combustibles fossiles**, grandes pourvoyeuses de gaz à effet de serre,
- techniquement, ces dernières s'adaptent beaucoup plus sûrement et rapidement que des centrales nucléaires aux variations rapides de la demande de puissance engendrées par les variations aléatoires des conditions météorologiques. Les réacteurs nucléaires **sont mal adaptés pour « suivre la charge »** ; ils n'y parviennent que malaisément et moyennant des manœuvres d'anticipation lourdes sur les sous-produits de la réaction nucléaire ; leurs structures internes subissant alors un vieillissement plus rapide sous l'effet des transitoires imposés par les appels de puissance du chauffage.

Le gestionnaire du réseau de transport (RTE) révélait, lors de la même vague de froid de décembre 2010, que des importations massives d'électricité en provenance notamment d'Allemagne étaient nécessaires, et qu'il ne disposait plus que d'une marge de 3 000 MW de « droits de tirage » sur ces importations en heure de pointe. Ces importations ont encore atteint 7 800 MW le 8/2/2012. RTE précise d'ailleurs que les émissions de gaz à effet

<sup>1</sup> - Le CEI est rarement installé dans les pays voisins en Europe.

de serre correspondant à ces importations ne sont pas prises en compte dans le bilan français. Étrange déni de responsabilité.

Avec une insistance croissante d'hiver en hiver, et à juste titre, RTE appelle les habitants de Bretagne et Côte d'Azur, zones alimentées par des réseaux fragiles et néanmoins largement équipées en CEI, à modérer leur consommation, pour éviter de risquer des coupures d'alimentation !

Cette situation d'hyper-sollicitation hivernale du système de production et des réseaux de transport et distribution a atteint un niveau absurde, asti économique et à la limite dangereux pour le fonctionnement social.

Cette situation n'est pas irréversible. Même si 40 ans de promotion du CEI ont engendré ces excès dans un parc très important de logements et de locaux tertiaires, des progrès techniques permettent de soulager et ménager intelligemment et économiquement le système électrique et le portefeuille des usagers. Comment ? En tournant justement (enfin) le regard du côté de l'usage et des usagers sans esprit de conquête, plutôt que sempiternellement du côté de la production d'énergie.

## **1 - Une solution technique de substitution : le chauffage thermodynamique où l'électricité devient collectrice d'énergie libre de l'environnement**

L'énergie de rayonnement qui arrive sur le globe terrestre maintient un équilibre de température de diverses sources possibles d'énergie : l'air, l'eau, les sols à plus ou moins grande profondeur.

Le système thermodynamique appelé familièrement « pompe à chaleur » (PAC), qui fonctionne comme un réfrigérateur inversé, permet de prélever l'énergie libre (donc renouvelable) de ces sources et de la transférer à l'intérieur d'un local à l'aide d'un compresseur électrique qui en rehausse la « qualité », en la portant à une température accrue. Les fluides calorigènes utilisés, antérieurement très critiqués pour leur contribution à la dégradation de la couche d'ozone, ont beaucoup évolué et progressé de ce point de vue, notamment à la suite d'une convention internationale proscrivant l'utilisation des fluides anciens. Au Japon, on étudie l'utilisation du gaz carbonique comme calorigène. Les pompes à chaleur prenant leur source renouvelable sur eau (nappe phréatique), sur sol par forage, sur sol par nappe d'échangeurs à faible profondeur, sur air extérieur se sont développées ces dernières années et des installateurs compétents se sont progressivement développés et ont créé des réseaux de promotion de la qualité.

L'énergie électrique consommée par la pompe à chaleur se trouve donc en pratique multipliée par un facteur que l'on appelle le coefficient de performance (COP).

Des progrès remarquables de performances ont été accomplis depuis les années 80 où ce COP était au mieux de l'ordre de 2 à 2,5. Si l'on prend l'exemple des systèmes air/air, les plus simples à installer dans un logement préalablement équipé de CEI, avec une unité d'échangeur extérieure et une ou des unités intérieures, ce coefficient de performance peut atteindre aujourd'hui 3,5 à 4, ce qui revient à dire en gros que pour un besoin de chauffage donné, la consommation - et donc l'appel de puissance sur le réseau - serait 3,5 à 4 fois moindre que dans le cas d'un CEI !

Pour les systèmes air/air c'est surtout vrai en mi saison lorsque la température extérieure est supérieure à 7 °C. Lorsque la température baisse encore, vers 0 °C ou en dessous, les performances s'abaissent et des phénomènes de givrage dans le cas des unités extérieures air/air peuvent y contribuer (le dégivrage peut alors faire appel à des impulsions d'effet Joule, ce qui ne va pas dans le bon sens). Le coefficient de performance peut alors descendre aux environs de 2 ou en dessous ; il arrive ainsi que, dans des installations mal conçues, lors des appels de pointe, la PAC ne mobilise plus - ou plus assez - d'énergie libre supplémentaire.

Il en résulte que, si les appels de puissance électrique sont considérablement réduits en mi-saison, les appels de puissance de pointe en période de vague de froid risquent de l'être nettement moins. Comment réduire encore ces pointes résiduelles très défavorables, surtout si l'on utilise une unité extérieure sur l'air extérieur, dont la température varie par définition ?

Notons déjà que les PAC ont connu des progrès importants, d'abord en utilisant des convertisseurs électroniques permettant une régulation continue du fonctionnement des moto-compresseurs et des ventilateurs. Aujourd'hui des progrès de configuration des cycles thermodynamiques à triple détente promettent de soutenir les performances jusqu'à des températures extérieures largement négatives. Ceci permettrait de compter sur un coefficient de performances d'au moins 3 sur l'ensemble de la période de chauffe.

Une autre solution est de recourir à la bi-énergie.

## 2 - Bi-énergie air/air

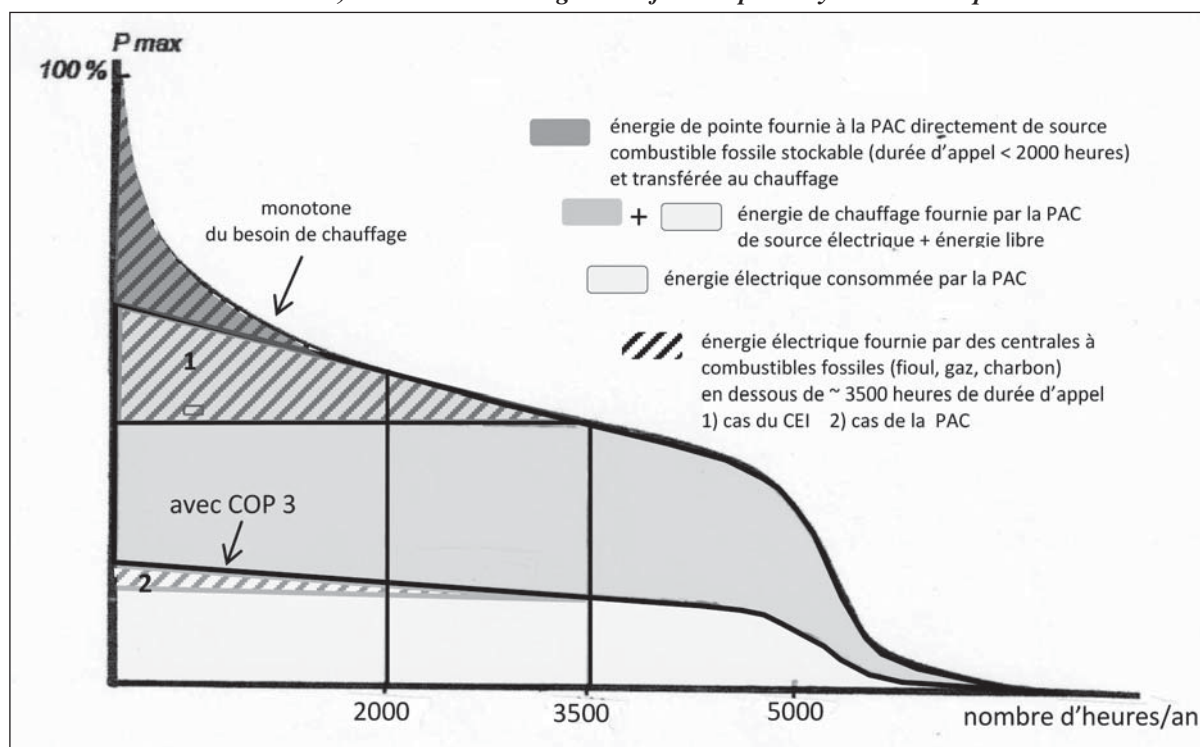
Pour améliorer les performances des systèmes air/air à la pointe d'hiver, on peut appliquer un principe déjà évoqué pour la substitution aux chauffages à combustibles fossiles : la bi-énergie. Au lieu de recourir à l'électricité par effet Joule pour dégivrer une unité extérieure lorsque la température s'approche de 0 °C, on pourrait utiliser un combustible stockable comme le gaz de réseau, le gaz stocké en bouteilles, le gaz liquéfié stocké en réservoir, le biogaz, le GPL, les biocarburants ou à la limite le fioul, pour « passer » les périodes de pointes. Par exemple, en utilisant des systèmes à catalyse ou à combustion contribuant à réchauffer le fluide calorigène au niveau de l'échangeur de l'unité extérieure, avant que ce fluide soit aspiré dans le compresseur du système air/air. Cette énergie additionnelle serait ainsi transférée à la/ou les unités intérieures, assurant en grande partie la fourniture d'extrême pointe tout en évitant les problèmes de givrage.

Une évaluation sommaire sur la base d'une monotone classique de chauffage permet de jauger les performances que l'on pourrait atteindre. Il faudrait fournir en pointe (en deçà de 2000 heures de durée d'appel par an) environ 6 % du besoin total de chauffage sous forme d'énergie « combustible » pour pouvoir maintenir l'efficacité de la PAC au COP 3 sur tout le reste de la fourniture, soit 94 % du total. Moyennant cet apport, et le maintien de la performance de la PAC, l'appel de puissance sur le réseau électrique à la pointe d'hiver serait ramené à seulement 20 % environ de sa valeur « CEI initiale ».

Exemple, pour un logement CEI consommant initialement 10 000 kWh par an, il faudrait fournir pour la pointe 600 kWh de combustible, soit l'équivalent d'une soixantaine de m<sup>3</sup> de gaz naturel ou d'une cinquantaine de kg de propane; la consommation électrique étant ramenée à environ 3100 kWh ou moins.

Figure 1 : Monotone de chauffage - CEI/PACBI-Énergie

Dans le cas du CEI, la totalité de l'énergie est à fournir par le système électrique.



De la sorte, la performance de réduction des appels de puissance électrique serait maintenue à un niveau élevé, le surcroît de consommation d'énergie à la pointe étant fourni par un combustible stockable.

On peut objecter que ce combustible de complément sera souvent un combustible carboné d'origine fossile (sauf dans le cas d'un biogaz ou de certains biocarburants). Mais si l'on se souvient que la pointe dans le cas du CEI est assurée par des centrales à combustibles fossiles, produisant l'électricité avec un rendement de l'ordre de 40 %, il ne fait aucun doute que **le bilan CO<sub>2</sub> sera fortement amélioré.**

Par exemple, en supposant que les appels de puissance supplémentaires du CEI en deçà d'une durée d'appel de 3 500 heures par an sont fournis par un mix de charbon, fioul et gaz, chacun pour 1/3, on peut estimer que la quantité de CO<sub>2</sub> émise par les centrales en question pour répondre aux appels du CEI serait diminuée d'environ 70 % grâce au système PAC bi-énergie.

Plusieurs fournisseurs d'électricité ou de gaz deviennent actuellement fournisseurs de **l'une et l'autre** énergie, à commencer par EDF et GDF-Suez ; la mise en place de cette fourniture bi-énergie en serait facilitée, avec un même fournisseur pour les deux énergies.

Dans le cadre des immeubles collectifs équipés du CEI individuel, des systèmes collectifs de distribution de fluides calorifères à partir d'unités extérieures centrales seront à mettre au point. Ils permettraient d'ailleurs de développer des **formules équilibrées de répartition des charges** entre une fourniture collective de moyens et une consommation individuelle d'électricité, en plaçant le système de compression au niveau de chaque logement.

### 3 - Un effet potentiellement massif sur les appels de puissance en hiver, et les émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

Un développement intensif de la substitution au CEI de pompes à chaleur installées sur diverses sources d'énergie libre engendrerait des effets très favorables sur le système électrique.

Au niveau des principes, admettons que, sur les quelques 35 000 MW électriques actuellement appelés à la pointe d'hiver par le CEI, 25 000 MW par exemple seraient progressivement réductibles à un appel compris entre 5 000 MW (PAC bi-énergie) et 8 300 MW (PAC performante seule) en recourant à des PAC ayant un coefficient de performance global et relativement constant de 3. La pointe appelée sur le réseau par le chauffage se réduirait alors à 15 000 MW ou 18 300 MW selon les cas, avec un effacement de 16 700 MW jusqu'à 20 000 MW, ce qui correspond à 25 % à 31 % de la puissance installée en centrales nucléaires en France. Et avec en corollaire, un prélevement sur l'environnement de l'ordre de 30 milliards de kWh d'énergie libre de flux, et d'environ 16 000 MW de puissance cumulée à la pointe.

#### *3-1 - Du côté des producteurs d'électricité : globalement un considérable allègement de contraintes et des économies importantes :*

- des investissements peu rentables pour faire face à des appels de puissance de durée limitée pourraient être différés de nombreuses années, permettant une plus grande latitude d'investissement sur les marchés européens ou mondiaux ; les besoins en combustibles pétroliers seraient réduits ;
- les personnels d'entretien et maintenance du parc de centrales nucléaires sont soumis à des conditions de travail de plus en plus contraignantes pour pousser à une disponibilité accrue des installations qui sont sollicitées au maximum de leur puissance ; ces opérations pourraient être effectuées dans des conditions de délais moins tendues, notamment en ce qui concerne les programmes de rechargement hivernaux techniquement incontournables<sup>2</sup> ;
- les centrales nucléaires pourraient être beaucoup moins sollicitées en variations de charge, sources de manœuvres délicates et très préjudiciables à la fatigue et au vieillissement des organes des réacteurs ;
- des centrales hydrauliques de lacs et d'éclusées, dont les capacités d'accumulation sont actuellement très largement réservées pour faire face aux appels de puissance du CEI à la pointe d'hiver, redeviendraient disponibles ; notamment **pour équilibrer des intermittences de production des installations d'énergies renouvelables** (éolien, solaire...) qui sont appelées à se développer fortement ; en corollaire, les « lâchers d'eau » de ces centrales seraient mieux répartis au long de l'année, plutôt que concentrés en période de pointe hivernale ;
- des exportations pourraient remplacer les importations de courant en hiver ;
- le risque de défaillance de la fourniture serait nettement diminué, permettant en corollaire des ajustements tarifaires non négligeables.

Des économies sensibles seraient dégagées pour les exploitants. Certes, les sacro-saintes ventes d'électricité s'en trouveraient modérées, mais il s'agit de ventes sous-tarifées d'une part (cf. annexe 1), et des compensations pourraient aussi être trouvées sur le plan tarifaire, comme évoqué plus loin.

Il est communément admis que le CEI représente une consommation annuelle de 85 TWh. Avec les 180 g de CO<sub>2</sub> par kWh de chauffage pris en compte dans le passé, ceci représente 15,3 millions de tonnes de CO<sub>2</sub>. Cependant, avec la valeur adoptée par l'ADEME pour 2010, soit 300 g/kWh, on arrive à 25,5 millions de tonnes de CO<sub>2</sub>.

Avec les proportions d'effacement prises en référence plus haut, les PAC pourraient alors éviter d'émettre 12 millions de tonnes de CO<sub>2</sub>. Au prix envisagé du temps de la taxe carbone (32 €/ tonne de CO<sub>2</sub>), l'économie sur ce seul poste équivaldrait à presque 400 millions d'Euros.

2 - En effet, à la différence d'un combustible hydrocarbure, le combustible nucléaire ne peut être changé que lorsqu'il a atteint un stade précis de transmutation, et statistiquement, sur l'ensemble du parc si ce dernier est totalement engagé, on n'est pas maître des moments où ce rechargement global, délicat et dangereux, devient nécessaire. La pression pour réduire les délais d'opérations est une source de contraintes et de risques supplémentaires pour les personnels soumis à une limitation des doses d'irradiation ; il est difficile d'assurer avec rigueur le contrôle de ce taux d'irradiation, surtout lorsque les opérations sont confiées à des entreprises sous-traitantes pour qui c'est une source de perte économique ; et il n'est pas rare non plus que certains personnels spécialisés ayant cumulé des doses importantes soient considérés comme « brûlés », et ne trouvent plus d'emploi chez les sous-traitants.

### 3-2 - Du côté des réseaux électriques :

- le réseau de transport pourrait « respirer » et cesser de vivre à la pointe d'hiver sous la menace de devoir couper ou de perdre l'alimentation de régions aux réseaux fragiles et surchargés (ouest et sud-est) ; les plans de défense contre l'effondrement du réseau synchrone s'en trouveraient renforcés ;
- les importations de courant hivernales en provenance essentiellement d'Allemagne sur un axe est-ouest surchargé, impliquant d'ailleurs, sans doute en forte proportion, une production de gaz à effet de serre, pourraient être supprimées ;
- les réseaux de distribution, en particulier en zones rurales, pourraient « souffler » du côté des fournitures de chauffage, après plusieurs décennies de développement intense - et très coûteux - et s'orienter vers le soutien à un tissu de petites et moyennes industries régionales ou locales.

## 4 - Des avantages pour l'utilisateur du chauffage électrique

Le premier avantage pour l'utilisateur de l'actuel CEI serait économique, en réduisant d'un facteur de l'ordre de 3 ou plus sa consommation d'électricité pour le chauffage. Cet avantage serait particulièrement sensible pour les usagers modestes qui subissent aujourd'hui comme un boulet la charge du chauffage électrique, notamment dans le logement social, ce qui conduit nombre de ménages à sous-chauffer leur logement et/ou à encourir une interruption de fourniture. Un avantage supplémentaire viendrait de la réduction de puissance souscrite et donc de prime fixe auprès du fournisseur d'électricité.

Avantage aussi au niveau du confort : il est connu que le système de convecteurs du CEI engendre une stratification verticale excessive de la température (en caricaturant un peu : on a les pieds au froid, la tête au chaud et le plafond étouffe) ; de plus il se produit une calcination des poussières au contact des résistances à haute température des convecteurs, préjudiciable à la qualité sanitaire du logement. Ces défauts ont été réduits depuis une dizaine d'années en recourant à des émetteurs rayonnants dits « basse température » - beaucoup plus coûteux cependant - mais ils persistent dans une certaine mesure et en tout cas dans de nombreux logements équipés de CEI anciens, à commencer par les logements sociaux.

Les systèmes thermodynamiques à air ont recours par construction à une émission basse température pour préserver leurs performances, d'une part ; d'autre part distribuent l'air chaud par un circulateur d'air à faible consommation. Cette convection dite « forcée » permet d'éviter la stratification et constitue en soi un facteur d'économie supplémentaire. Elle permet également, dans le cas d'un logement à étages, d'éviter l'évasion de la chaleur vers les étages hauts, laissant les pièces basses inconfortables.

## 5 - Une campagne nationale pluriannuelle à mettre sur pieds

Il sera indispensable, en particulier dans le cas du logement social et des économiquement faibles, de pourvoir et aider à l'investissement, au perfectionnement et au bon usage des systèmes en question. Une campagne nationale, étalée sur une dizaine d'années et relayée au niveau régional dans le cadre des contrats de plans État-Régions devrait être déclinée :

### Du côté des pouvoirs publics d'abord :

- en finançant des campagnes de promotion nationale modulées régionalement,
- en accordant les crédits d'impôts ou prêts bonifiés prévus dans les suites du « Grenelle » de l'environnement,
- en imposant, via la réglementation thermique, le recours aux techniques de pompes à chaleur pour le chauffage électrique en construction neuve.
- en aidant, en collaboration avec les producteurs d'énergie et les centres techniques du chauffage et de l'aérotechnique, à la formation des installateurs et à la certification des matériels.

### Du côté des producteurs d'énergie :

- en aidant à la mise au point des systèmes bi-énergie, à leur développement dans l'industrie, à la réduction des coûts,
- en accordant une prime à l'installation des appareils, à la mesure des économies réalisées pour le système électrique (cf. annexe 2) ; en contrepartie des aides reçues, les usagers accepteraient l'installation d'un comptage saisonnier faisant apparaître une tarification différenciée entre hiver et été (au sens tarifaire),
- en instituant un centre d'appel et de conseil commun permettant de résoudre les problèmes d'installation et de mise au point/réglage.

### Du côté des installateurs et fournisseurs et de leurs organismes consulaires en créant :

- des formations spécifiques,

- des labels de qualité et de performances, dont le respect avéré pourrait comporter des primes; des aides aux réseaux d'installateurs promouvant la qualité,
- des programmes de recherche-développement

*En s'appuyant sur des techniques déjà largement existantes, mais que l'industrie aura l'opportunité de développer amplement, il sera donc possible ainsi de rationaliser un secteur du chauffage électrique qui subit aujourd'hui les conséquences d'une action quasi-monopolistique, manquant à la fois d'ouverture et de cohérence lancée il y a 40 ans.*

*Une action coordonnée dans ce secteur permettra d'alléger progressivement les contraintes lourdes induites pour le système électrique dans son ensemble, quelles que soient les orientations retenues pour l'avenir du mix énergétique, et de renforcer de manière directement abordable le recours aux énergies libres de l'environnement. Des dizaines de milliers d'emplois sont à la clé.*

## Annexe1

### Comment en est-on arrivé là ?

La politique de promotion du chauffage électrique dit intégré (CEI) remonte au début des années 70, un peu avant le premier choc pétrolier de 1973, qui devait amener les dirigeants d'EDF à se projeter dans une vision « tout électrique, tout nucléaire », selon le slogan lancé par eux vers 1974; avec l'idée de retrouver la croissance des « trente glorieuses » à travers la substitution tous azimuts des produits pétroliers par le nucléaire.

La promotion du CEI en France a mobilisé pendant des décennies des moyens considérables – ceux du service public omniprésent sur tout le territoire - comportant dès le départ une direction spécialisée: le service d'étude et de promotion de l'action commerciale d'EDF (SEPAC). Cette direction a agi avec des moyens de propagande importants auprès de tous les acteurs: usagers, promoteurs, offices d'HLM, banques, groupements de métiers, organismes consulaires, parlementaires, administrations, pouvoirs publics... et avec en toile de fond la réputation de neutralité et de souci de l'intérêt général du Service Public.

De fait, EDF a résisté de toutes ses forces pendant plusieurs décennies à la mise en place d'un tarif saisonnalisé (différencié entre hiver et été) qui aurait pu refléter les coûts réels des appels de puissance l'hiver en période de chauffage, et aurait permis de réguler quelque peu l'invasion du CEI en construction neuve, puis en réhabilitation. Les gouvernants du début et de la fin des années 80 qui ont tenté sans succès d'y remédier s'en souviennent sûrement.

C'est ainsi qu'à puissance égale le kWh basse tension est resté au même tarif, qu'il s'agisse de consommations de chauffage (donc à dominante hivernale) ou qu'il s'agisse de consommations réparties au long de l'année. Le CEI reste sous-tarifé.

C'est ainsi que les usagers d'électricité spécifique (éclairage, électroménager, motorisation, électronique...) ont supporté et supportent encore aujourd'hui le surcoût qu'induit le CEI sur le système électrique, tant dans l'appareil de production que dans les réseaux de transport et de distribution, en particulier en zones rurales. Ces coûts de développement d'électrification rurale ont bien sûr dépassé de loin ceux de la mise en place d'un comptage hiver/été, mais ainsi le CEI a pu prendre l'expansion que l'on sait.

- En laissant freiner pendant plus de 30 ans la progression des mesures d'économies d'énergie, telle l'isolation efficace des logements qui aurait été souhaitable (mais qui aurait rendu moins séduisant aux yeux des promoteurs l'investissement de base plus avantageux du CEI),
- En passant sous silence aux yeux du grand public et même de nombre d'acteurs économiques l'incontournable recours aux centrales à combustible fossile pour faire face à la pointe d'hiver,

On est arrivé aujourd'hui à la progression déraisonnable de ces appels de puissance en situation de vague de froid.

Aujourd'hui le nombre très important d'usagers concernés par le CEI empêche toute mesure tarifaire brutale. Un retour à la rationalité des coûts ne se conçoit qu'accompagné de mutations technologiques aidées favorisant de sensibles économies d'énergie pour l'utilisateur-citoyen, et dans le sens d'un intérêt général bien compris faisant place à la diversité, notamment dans l'industrie énergétique.

## Annexe 2

### Un simple calcul...

Lorsqu'un usager investit un système de chauffage thermodynamique de puissance 3 kW avec un COP de 3, ce dernier ne consomme que 1 kW ; il économise donc **pour le système de production** l'investissement de 2 kW<sup>1</sup>.

Le coût d'investissement d'un tel système de puissance de chauffage 3 kW serait aujourd'hui de l'ordre de 3000 €, mais pourrait s'approcher à l'avenir de 2000 € si un nombre important d'installations permettait une baisse progressive des prix.

Compte tenu de l'ensemble des intérêts généraux soulignés plus haut pour le système électrique et pour ses usagers, une subvention à l'investissement de la part des producteurs se justifie pleinement.

Si l'on admet que l'investissement de production d'électricité varie, selon les modes de production :

- de 600 € par kW dans le cas d'une turbine à gaz à cycle combiné (CCG),
- à 3 600 € par kW dans le cas d'une tranche EPR,

l'économie d'investissement de production pour les 2 kW économisés s'échelonne ainsi de 1200 à 7200 € ; dans les deux cas les économies de combustibles, non chiffrées ici, viendraient s'ajouter.

L'économie résultante pour le système de production, permet donc de subventionner au moins à hauteur de 1200 € l'installation de chauffage en question, ce qui laisse à la charge de l'utilisateur 1800 € aujourd'hui, (décroissant potentiellement vers 800 €) pour chaque kW électrique installé, produisant 3 kW de chauffage. La baisse de puissance souscrite ainsi que d'autres aides (crédit d'impôt, prêt à taux bonifié) permet alors de ramener le coût d'investissement résiduel pour l'utilisateur pratiquement au prix d'un chauffage CEI moderne (~ 500 € pour les 3 kW pris en compte)<sup>2</sup>.

L'utilisateur bénéficiera ensuite de la forte réduction de sa consommation électrique. Par exemple, avec un coût prospectif d'électricité de l'ordre de 0,15 € par kWh, un usager ayant un besoin de chauffage annuel de 7500 kWh verra sa consommation d'électricité réduite à 2500 kWh (COP 3). Son économie de 5000 kWh est valorisée à 750 € par an. Le temps de retour pour le montant d'investissement restant à charge de l'utilisateur varie en gros entre **1 an et 2 ans et demi**.

Dit autrement, l'économie de 5000 kWh en valeur cumulée actualisée au taux de 8 % (cumac) représente avec une durée de vie de la PAC de 20 ans **entre 2,5 et 3,5 fois le coût d'investissement hors subvention**.

*1 - Comme on s'intéresse ici aux appels de puissance de pointe lors d'une forte vague de froid concernant une grande partie du territoire, on peut considérer en première approche que les effets de foisonnement des charges dans les postes du réseau jouent peu dans le cas du CEI appelé pratiquement partout en continu et à pleine puissance dans ces circonstances climatiques.*

*2 - On notera bien que les économies de combustible et de maintenance des centrales ne sont pas ici prises en compte, non plus d'ailleurs que l'économie d'investissement et de gestion pour les réseaux de transport et de distribution. Tout ceci converge pour justifier un subventionnement important des chauffages à substituer au CEI.*